

Campuran Pulp Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Selulosa Mikrobial *Nata de Cassava* dalam Pembuatan Kertas

(The Mixture of Empty Oil Palm Fruit Bunch Pulp and Microbial Cellulose from *Nata de Cassava* for Paper Manufacture)

Khaswar Syamsu^{1*}, Liesbetini Haditjaroko¹, Gamma Irca Pradikta¹, Han Roliadi²

ABSTRAK

Saat ini, selulosa yang berasal dari kayu alam masih mendominasi bahan baku untuk pembuatan pulp dan kertas di Indonesia. Akibatnya, laju deforestasi dikhawatirkan akan terus meningkat. Penelitian ini bertujuan mengkaji penggunaan pulp tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan pulp mikrobial dari *nata de cassava* dalam pembuatan kertas. Pada penelitian ini, pulp selulosa mikrobial dari *nata de cassava* dicampur dengan pulp TKKS pada berbagai komposisi untuk diproses menjadi kertas. Aditif (tawas 2%, tepung tapioka 2,5% dan 5% kaolin) ditambahkan ke dalam campuran tersebut. Lembaran kertas tanpa aditif dibuat sebagai kontrol. Penambahan pulp selulosa mikrobial memiliki kecenderungan untuk meningkatkan kekuatan fisik pada kertas dan mengurangi kemampuan daya serap air secara signifikan. Penambahan aditif dapat meningkatkan gramatur, indeks tarik dan ketahanan lipat serta dapat menurunkan kemampuan daya serap air kertas. Campuran pulp tandan kosong kelapa sawit dan pulp selulosa mikrobial berpotensi menggantikan pulp kayu dalam pembuatan kertas.

Kata kunci: pulp/kertas, selulosa mikrobial (*nata de cassava*), tandan kosong kelapa sawit

ABSTRACT

Nowadays, forest-extracted wood cellulose still predominantly serves as raw material for pulp and paper manufacture in Indonesia. Consequently, the deforestation rate has alarmingly increased. The purpose of this research is to study the use of mixed microbial cellulose pulp from *nata de cassava* and pulp from empty oil palm fruit bunch (EOPFB) for paper manufacture. In this research, pulp of *nata de cassava*'s microbial cellulose was mixed with EOPFB pulp at various proportions. Additives (i.e. 2% alum, 2.5% tapioca starch, and 5% kaolin) were added to such mixture. Sheet forming without additives was made as a control. Addition of microbial cellulose tends to increase the physical and strength properties of paper and decrease the capability to absorb water significantly. The mixture of pulp of empty oil palm fruit bunch and microbial cellulose from *nata de cassava* has a potency to substitute wood pulp for paper manufacture.

Keywords: empty oil-palm fruit bunch, microbial cellulose (*nata de cassava*), pulp/paper

PENDAHULUAN

Kertas merupakan bagian yang tidak terpisahkan dalam peradaban manusia, sehingga industri pulp dan kertas mengalami perkembangan yang pesat di Indonesia dan di dunia. Produksi dan konsumsi kertas dan karton dunia pada tahun 2008 masing-masing mencapai 389.237 dan 388.715 juta ton (FAO 2011). Di Indonesia, menurut Asosiasi Pulp dan Kertas Indonesia, produksi kertas pada tahun 2009 sebanyak 9.363 juta ton, dan meningkat menjadi 9.951 juta ton di tahun 2010. Peningkatan ini juga seiring dengan peningkatan laju deforestasi hutan Indonesia pada selang tahun 2000–2010 sebesar 498 ribu hektar/per tahun atau sebesar 0,5% per tahun. (FAO 2011).

¹ Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

² Pusat Penelitian Sumber daya Hayati dan Bioteknologi (PPSHB), Gd. PAU, Jl. Kamper, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680.

³ Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan, Jl. Gunung Batu No. 5. Bogor 16610.

* Penulis korespondensi: E-mail: khaswars@yahoo.com

Pencarian alternatif sumber bahan baku kertas selain kayu merupakan keniscayaan.

Bahan selulosa non kayu sesungguhnya tersedia di Indonesia dalam jumlah yang berlimpah, diantaranya tandan kosong kelapa sawit (TKKS). Jumlah limbah TKKS seluruh Indonesia pada tahun 2012 diperkirakan mencapai 26,5 juta ton (Ditjen Perkebunan 2012). Karena potensi ketersediaannya yang besar, penggunaan tandan kosong kelapa sawit sebagai bahan kertas telah diinisiasi oleh Purwanto dan Sparingga (2000) dan Roliadi (2009). Namun, pada limbah padat organik seperti TKKS yang diproses secara semi kimia, masih terdapat bahan bukan serat yang bersifat higroskopis, sehingga kertas yang dihasilkan mengandung air cukup besar dan tidak kaku. Hal ini yang membuat kualitas pulp dari TKKS, khususnya untuk produk karton masih berkualitas rendah. Dilain pihak, selulosa mikrobial dari *nata* telah terbukti bisa digunakan sebagai bahan pembuat kertas yang kuat dan ramah lingkungan (Syamsu *et al.* 2013). Namun ketiadaan peralatan yang cocok yang dirancang khusus untuk produksi kertas hanya dari selulosa mikrobial merupakan kelemahan dari penggunaan selulosa mikrobial

sebagai bahan kertas. Karena itu pulp selulosa mikrobial perlu dicampur dengan sumber pulp selulosa lain. Penelitian ini mengkaji penggunaan pulp dari TKKS, selulosa mikrobial *nata de cassava*, dan kombinasi campuran keduanya pada berbagai formulasi untuk menghasilkan kertas.

METODE PENELITIAN

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah TKKS dari pabrik pengolahan kelapa sawit di Banten dan lembaran *nata de cassava* yang diperoleh dari industri kecil di Yogyakarta. Bahan kimia pemasak serpih TKKS yang digunakan adalah natrium hidroksida (NaOH), sedangkan untuk pembentukan lembaran kertas digunakan bahan pengisi kaolin, bahan retensi alum sulfat, bahan perekat tapioka, bahan pengisi (*sizing*) rosin.

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah *niagara beater*, *paper tensile strength tester*, *tearing tester*, *bursting tester*, dan *COBB tester*.

Formulasi Kombinasi Pulp Selulosa Mikrobial dan Pulp TKKS

Lembaran *nata de cassava* dimurnikan dengan pemasakan selama 20 menit menggunakan larutan NaOH 1% (b/v) pada 60 °C (Krystynowicz *et al.* 2005). Pemurnian ini bertujuan untuk melarutkan polimer berantai pendek (berderajat polimerisasi rendah), dan mempertahankan polimer selulosa berantai panjang (berderajat polimerisasi tinggi).

Pembuatan pulp TKKS dilakukan dengan proses semi-kimia soda panas tertutup (Modifikasi Gulichsen *et al.* 2000). Potongan TKKS dimasak dalam ketel pemasak yang dipanaskan dengan kompor gas. Pemasakan TKKS dilakukan pada konsentrasi alkali (NaOH) 10% selama 3 jam pada suhu pemasakan maksimum 120 °C. Nilai banding TKKS terhadap larutan pemasak adalah 1,0:5,5. Setelah pemasakan, pulp TKKS dipisahkan dari larutan pemasak dan dicuci sampai bebas dari sisa larutan pemasak (Roliadi & Anggarini 2011).

Pembuatan pulp dari selulosa mikrobial dan TKKS pada prinsipnya adalah menguraikan serat-serat yang ada. Pulp selulosa mikrobial dan pulp TKKS dimasukkan ke dalam *niagara beater* secara terpisah, setelah itu masing-masing pulp disaring dengan kain. Kemudian dihitung kadar airnya dan ditentukan rendemen serat yang diperoleh.

Sejumlah bobot dari kedua pulp diambil sesuai dengan perlakuan dan dilakukan kembali penguraian serat. Penguraian serat dilakukan hingga kombinasi pulp mencapai derajat kehalusan 250–300 ml CSF (Canadian Standard Freeness) untuk gramatur target 60 g/m² dan 350–400 ml CSF untuk gramatur target 120 g/m². Sejumlah bobot dari kedua pulp diambil sesuai dengan perlakuan dan dihomogenisasi dengan pengadukan. Kertas dibuat dengan nisbah bobot antara selulosa TKKS dan selulosa mikrobial berturut-

turut 0:100; 25:75; 50:50; 75:25, dan 100:0. Percobaan dilakukan dengan lima kali ulangan.

Pembentukan Lembaran

Pembentukan lembaran diawali dengan penimbangan pulp, penguraian serat, penambahan alum 2%, kaolin 5%, dan tapioka 2,5 % sesuai dengan perlakuan pada kombinasi pulp. Setelah itu, buburan ini dicetak menggunakan mesin pencetak kertas dan dikeringkan. Percobaan dilakukan dengan dua kali ulangan.

Pengujian Sifat Kertas yang Dihasilkan

Pengujian yang dilakukan terhadap pulp dan kertas yang dihasilkan adalah pengujian kadar air (SNI ISO 287-2010) untuk menghitung rendemen pulp, karakteristik fisik dan kekuatan kertas yang dihasilkan yang meliputi: gramatur (SNI ISO 536-2010), ketahanan tarik (SNI ISO 1924-2-2010), ketahanan sobek (SNI 0436-2009), ketahanan lipat (SNI 0491-2009), daya serap air (SNI 0499-2008), derajat putih (SII 0437-81), dan opasitas cetak (SII 0531-81).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rendemen Pulp

Dari hasil penelitian didapat rata-rata rendemen pulp TKKS sebesar 62% (db) atau 55% (wb). Nilai rendemen ini dipengaruhi oleh pengolahan pulp yang dilakukan secara semi-kimia yang membuat sebagian lignin masih terbawa. Namun nilai ini masih terletak dalam selang rendemen yang umum diperoleh dari pengolahan pulp semikimia berbahan baku kayu (60–75%). Hal ini karena TKKS memiliki kadar lignin 22,6% (Nuryanto 2000), dimana jumlah ini terletak pada selang kadar lignin pada *hardwood* (16–24%) dan lebih rendah dari kadar lignin *softwood* (27–33%) yang biasanya memiliki rendemen selulosa yang lebih kecil.

Rata-rata rendemen pulp selulosa mikrobial sebesar 60% (db) atau 1,8% (wb). Peralatan saringan yang dirancang untuk pulp kayu menyebabkan banyaknya serat pulp selulosa mikrobial yang tercuci bersama air dan lolos dari saringan yang berakibat pada rendahnya rendemen yang dihasilkan. Ukuran serat selulosa mikrobial sangat halus, lebih kecil 1/10 sampai 1/1000 dari ukuran serat selulosa kayu (Yoshinaga *et al.* 1997). Karena itu, perlu ada upaya untuk merancang saringan dan peralatan khusus untuk pembuatan kertas dari selulosa mikrobial. Gambar 1 menunjukkan sampel pulp selulosa TKKS dan pulp selulosa mikrobial.

Karakteristik Kertas

Berbagai formulasi campuran pulp TKKS dan selulosa mikrobial menghasilkan kertas dengan karakteristik yang beragam. Gambar 2 memperlihatkan kenampakan kertas yang dibuat pada berbagai



(a)



(b)

Gambar 1 (a) Pulp selulosa TKKS; (b) Pulp selulosa mikrobial.

Gambar 2 Kertas campuran pulp TKKS & selulosa mikrobial *nata de cassava* pada berbagai komposisi. A: 100:0; B: 75:25; C: 50:50; D: 25:75; E: 0:100.

formulasi campuran pulp TKKS dan selulosa mikrobial.

kinan serat lolos dari saringan, sehingga *loss* akan meningkat.

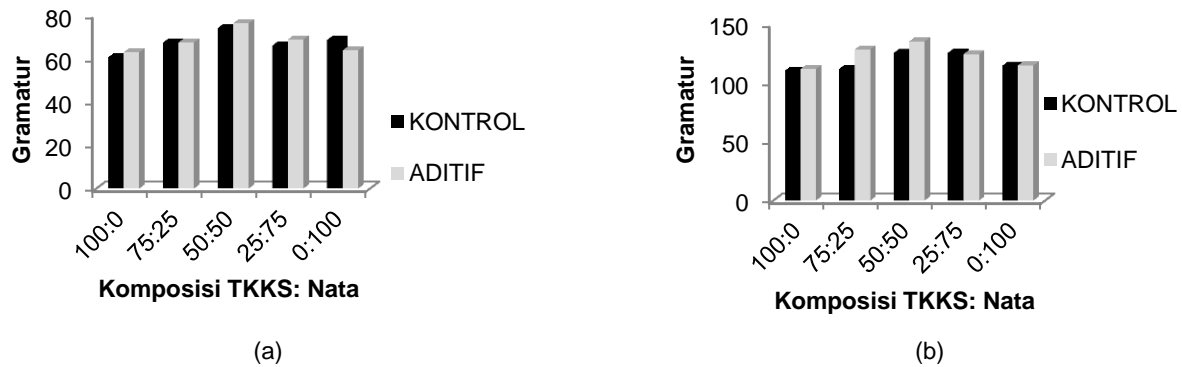
Gramatur Kertas

Gramatur merupakan nisbah bobot kertas (g) dengan luasan kertas (m^2). Dijelaskan oleh Casey (1980) bahwa gramatur kertas mempengaruhi semua sifat-sifat kertas. Pada penelitian ini, gramatur target yang dibuat adalah 60 dan 120 g/m^2 . Gramatur yang dihasilkan untuk gramatur 60 g/m^2 berada pada selang 59,8–78,92 g/m^2 , sedangkan untuk gramatur target 120 g/m^2 berada pada selang 107,64–145,32 g/m^2 .

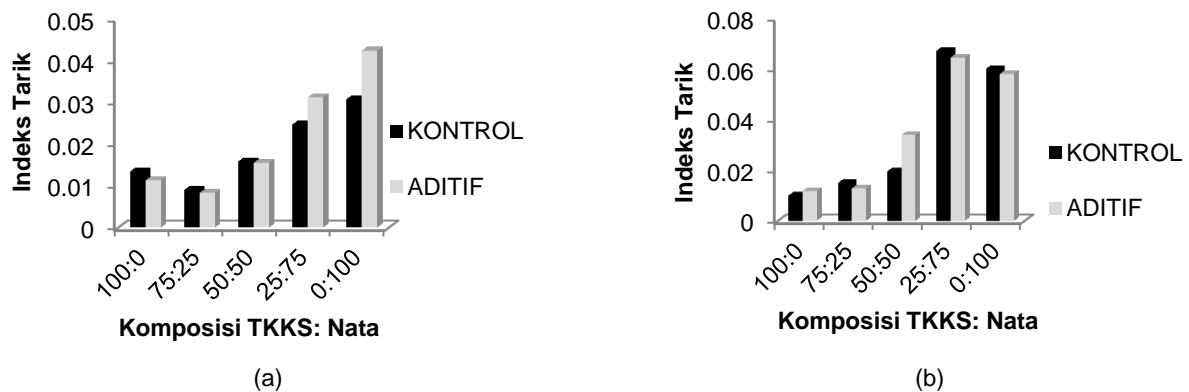
Gambar 3 memperlihatkan bahwa komposisi *nata de cassava* 0 hingga komposisi 50%, menunjukkan adanya peningkatan gramatur. Hal ini menunjukkan bahwa adanya penambahan selulosa mikrobial dapat meningkatkan kepadatan kertas karena seratnya yang kecil dan halus dapat mengisi ruang kosong diantara serat-serat kaku pada TKKS. Sedangkan komposisi *nata de cassava* diatas 50% membuat gramaturnya semakin menurun. Hal ini diduga karena semakin banyak selulosa mikrobial, semakin besar kemung-

Ketahanan Tarik

Ketahanan tarik adalah gaya tarik maksimum per satuan lebar yang dapat ditahan oleh kertas sesaat sebelum putus pada kondisi yang telah ditetapkan dalam metode uji standar. Sedangkan indeks tarik merupakan ketahanan tarik (dinyatakan dalam kN/m) dibagi dengan gramatur kertas (SNI ISO 1924-2-2010). Nilai indeks tarik yang diperoleh pada gramatur target 60 g/m^2 berkisar antara 0,0056–0,04793 kNm/g . Nilai indeks tarik TKKS 100% tergolong rendah, yakni untuk gramatur target 60 dan 120 g/m^2 berturut-turut 0,0113 dan 0,0118 kNm/g . Setelah adanya penambahan selulosa mikrobial maka indeks tariknya meningkat secara signifikan, yakni nilai tertinggi untuk gramatur target 60 dan 120 g/m^2 berturut-turut 0,0424 kNm/g pada komposisi *nata de cassava* 100% dan 0,0672 kNm/g pada komposisi *nata de cassava* 75%, yang berarti peningkatan 3,7 dan 5,7 kali (Gambar 4). Nilai ini bahkan lebih tinggi jika dibandingkan dengan indeks tarik kertas dari



Gambar 3 (a) Gramatur untuk gramatur target 60 g/m²; (b) Gramatur untuk gramatur target 120 g/m².



Gambar 4 (a) Indeks tarik untuk gramatur target 60 g/m²; (b) Indeks tarik untuk gramatur target 120 g/m².

Acacia mangium, yaitu 0,02568 kNm/g (Romadona 2001).

Pada analisis ragam dengan taraf 5% diperoleh pengaruh yang signifikan pada faktor perbandingan komposisi. Semakin besar kandungan *nata de cassava* pada campuran kertas akan membuat indeks tariknya semakin besar. Hal ini terjadi karena selulosa mikrobial berbentuk anyaman halus dan kuat dengan derajat kristalinitas dan kerapatan yang tinggi yang membuat indeks tariknya sangat tinggi. Sifat kristalinitas yang tinggi menyebabkan regangnya tinggi dan kaku. Selain itu, serat pendek yang dimiliki selulosa mikrobial membuat ikatan antar seratnya lebih kompak dan kuat. Sebaliknya kandungan selulosa TKKS yang tinggi memiliki kekuatan tarik yang rendah. Hal ini dimungkinkan karena masih adanya bahan non selulosa yang membuat seratnya bersifat amorf sehingga menurunkan kekuatan tariknya.

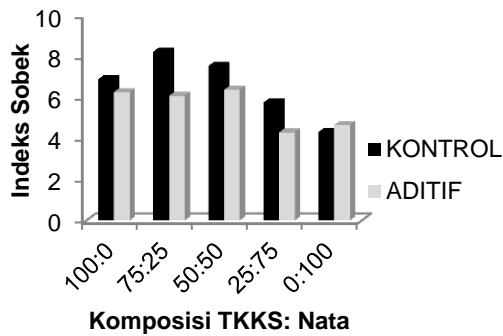
Ketahanan Sobek

Ketahanan sobek adalah gaya dalam milinewton (mN) yang diperlukan untuk menyobek kertas pada kondisi standar. Sedangkan indeks sobek adalah ketahanan sobek kertas dalam milinewton dibagi gramatur kertas dalam gram per meter persegi (SNI 0436-2009). Nilai indeks sobek pada gramatur target 60 g/m² berkisar antara 4,04–8,22 mN m²/g, sedangkan pada gramatur target 120 g/m² berkisar antara 4,32–7,72 mN m²/g. Indeks sobek pada

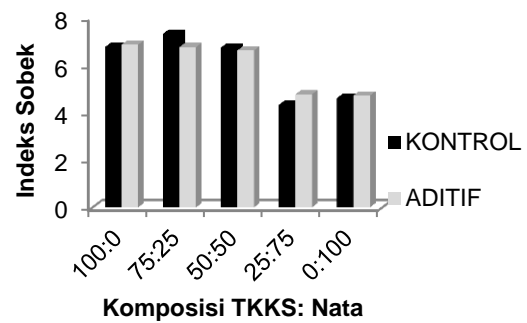
komposisi TKKS 100% memiliki nilai 6,25 mN m²/g pada gramatur target 60 g/m² dan 6,85 mN m²/g pada gramatur target 120 g/m². Nilai ini lebih tinggi dari indeks sobek kertas dari serat *Acacia mangium*, yaitu 2,24–4,7 mN m²/g (Romadona 2001), serat jerami 3,94–5,38 mN m²/g serta bagas 5,88 mN m²/g (Ibnusantosa 1987). Nilai indeks sobek tertinggi diperoleh pada komposisi TKKS 75% tanpa penambahan aditif dengan nilai 8,22 mN m²/g (Gambar 5).

Ketahanan Lipat

Pada penelitian ini, beban seberat 1 kg diberikan pada bahan uji kertas untuk dilihat ketahanan lipatnya. (SNI 0491-2009). Dari hasil percobaan, diperoleh ketahanan lipat untuk gramatur target 60 g/m² berada pada selang 3,2–108,5 lipatan ganda. Nilai tertinggi diperoleh dari kombinasi 50:50 dengan penambahan aditif, sedangkan untuk gramatur target 120 g/m², berada pada selang 4–397,5 lipatan ganda dan nilai tertinggi diperoleh dari 100% *nata de cassava* dengan penambahan aditif. Penambahan *nata de cassava* diatas 50% pada kedua gramatur target dengan penambahan aditif memiliki nilai ketahanan lipat yang lebih tinggi dari kertas *bond* yang mensyaratkan nilai minimal 30 lipatan ganda (SNI 2185-2010). Semakin banyaknya kandungan *nata de cassava* membuat ketahanan lipatnya meningkat karena ikatan antar seratnya yang kompak dan kuat ditambah dengan adanya aditif (alum) yang

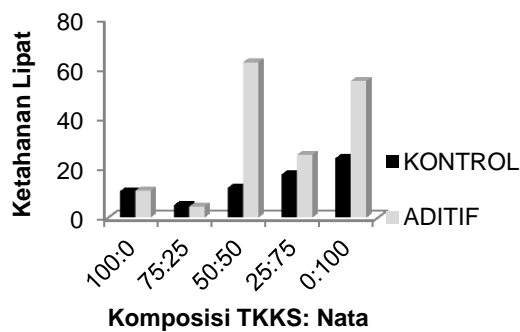


(a)

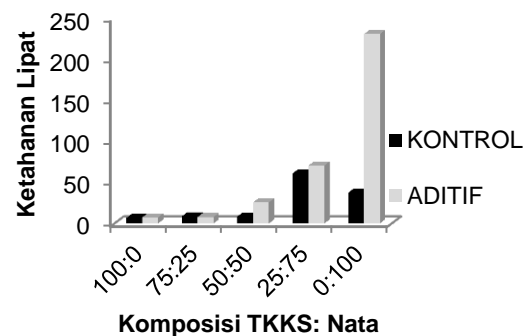


(b)

Gambar 5 (a) Indeks sobek untuk gramatur target 60 g/m²; (b) Indeks sobek untuk gramatur target 120 g/m².



(a)



(b)

Gambar 6 (a) Ketahanan lipat untuk gramatur target 60 g/m²; (b) Ketahanan lipat untuk gramatur target 120 g/m².

dapat menyelaraskan ikatan serat dengan mengubah gaya tolak menolak antara serat dan aditif menjadi tarik menarik (Gambar 6).

Daya Serap Air

Daya serap air merupakan jumlah gram air yang diserap oleh 1 m² lembaran kertas dalam waktu penyerapan selama beberapa waktu (detik), dan diukur pada kondisi standar (SNI 0499-2008). Pada pengujian ini, waktu yang digunakan adalah 60 detik dan hasil pengujian disebut sebagai Cobb₆₀.

Dari hasil percobaan, nilai terendah diperoleh dari komposisi *nata de cassava* 100% dan tertinggi dari komposisi TKKS 100%. Kandungan *nata de cassava* yang lebih tinggi akan menghasilkan daya serap air yang lebih rendah. Hal ini disebabkan karena selulosa mikrobial memiliki ikatan serat yang rapat sehingga sulit dipenetrasi oleh air. Sebaliknya semakin banyak kandungan selulosa TKKS maka penyerapan air semakin tinggi. Diduga hal ini terjadi karena selulosa TKKS telah mengalami perlakuan alkali yang dapat merusak struktur kristalin dari selulosa, sehingga penambahan *nata de cassava* akan memperbaiki struktur permukaan selulosa TKKS yang tidak teratur menjadi lebih kristalin dan lebih rapat sehingga penetrasi air dapat diminimalisasi. Nilai daya serap air yang rendah seperti ini tentu sangat dibutuhkan untuk kertas tulis, kertas gambar, kertas kalkir, dan juga untuk kertas kemasan. Dari hasil analisis ragamun diperoleh pengaruh yang signifikan pada perbandingan-

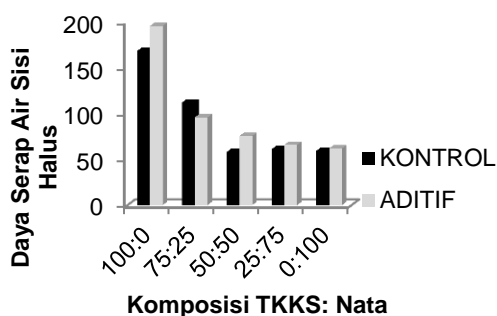
an komposisi terhadap daya serap air kertas. Komposisi 100% TKKS berbeda nyata dengan semua komposisi, namun antar keempat komposisi lain tidak memiliki pengaruh yang berbeda nyata (Gambar 7).

Selain itu penambahan aditif juga berpengaruh pada kemampuan penyerapan air. Kaolin berfungsi sebagai filler dimana bahan ini akan mengisi pori-pori kertas sehingga permukaan menjadi lebih rapat dan lebih halus.

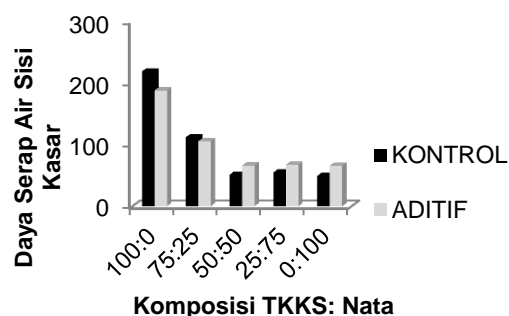
Derajat Putih

Derajat putih merupakan salah satu karakteristik optik yang diuji pada penelitian ini. Derajat putih dilakukan untuk mengetahui tingkat kecerahan kertas dengan cara melihat perbandingan cahaya biru yang dapat dipantulkan oleh kertas dengan cahaya biru yang dapat dipantulkan oleh permukaan lapisan magnesium oksida.

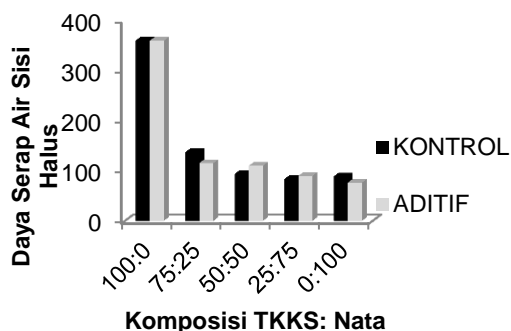
Berdasarkan hasil uji, nilai derajat putih tertinggi diperoleh pada komposisi 100% *nata de cassava* dengan penambahan aditif pada gramatur target 60 g/m² sebesar 44,98% sedangkan terendah diperoleh pada komposisi 25:75 tanpa penambahan aditif pada gramatur target 120 g/m² sebesar 8,72% (Gambar 8). Semakin sedikit jumlah serat pada kertas maka semakin banyak cahaya yang dapat dipantulkan oleh permukaan kertas. Itulah yang menyebabkan derajat putih gramatur target 60 g/m² selalu lebih tinggi daripada gramatur target 120 g/m², terlebih jika mengandung komposisi *nata de cassava* yang lebih



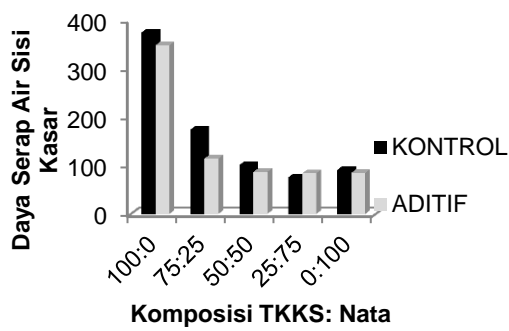
(a)



(b)

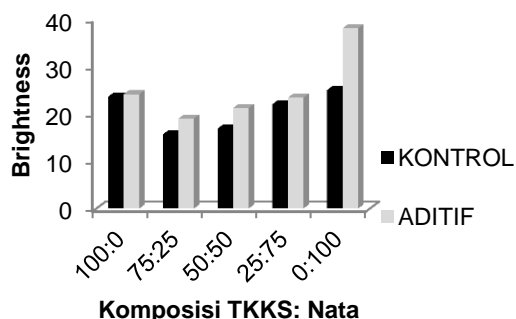


(c)

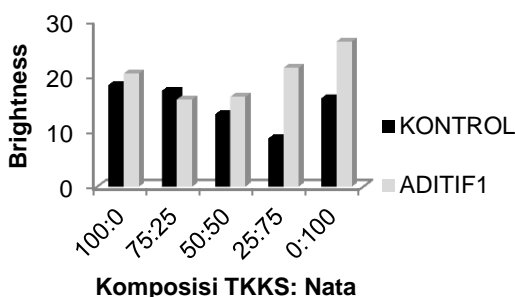


(d)

Gambar 7 (a) Daya serap air sisi halus untuk gramatur target 60 g/m²; (b) Daya serap air sisi kasar untuk gramatur target 60 g/m²; (c) Daya serap air sisi halus untuk gramatur target 120 g/m²; (d) Daya serap air sisi kasar untuk gramatur target 120 g/m².



(a)



(b)

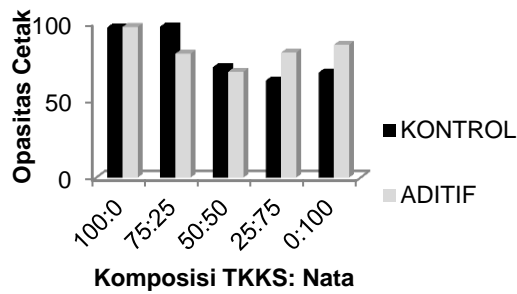
Gambar 8 (a) Derajat putih untuk gramatur target 60 g/m²; (b) Derajat putih untuk gramatur target 120 g/m².

banyak. *Nata de cassava* berwarna putih alami sedangkan serat TKKS masih mengandung lignin yang membuat warnanya menjadi gelap. Nilai derajat putih kertas tanpa *bleaching* ini memang masih tergolong rendah. Jika diperlukan, derajat putih dapat ditingkatkan dengan melakukan proses *bleaching*.

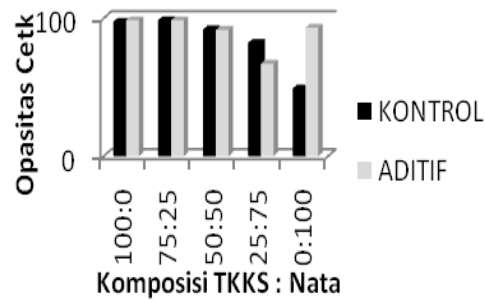
Opasitas Cetak

Opasitas cetak merupakan perbandingan antara faktor pantul pencahayaan (Ro) dengan faktor pantul pencahayaan intrinsik yang dinyatakan dalam persen (%). Opasitas cetak merupakan karakter optik yang cukup penting karena tingginya nilai opasitas dapat membentuk bayangan hasil cetakan pada permukaan sebelahny.

Berdasarkan hasil uji, nilai opasitas cetak berkisar antara 50,98–97,55% untuk gramatur target 60 g/m² dan 49,15–99,38% untuk gramatur target 120 g/m². Semua komposisi pada gramatur target 120 g/m² (Gambar 9), kecuali pada komposisi 25:75 memiliki opasitas cetak yang lebih tinggi dibandingkan dengan persyaratan kertas multiguna dengan nilai minimal 85% (SNI 6601-2011), kertas *bond* dengan nilai minimal 80% (SNI 2185-2010), dan kertas koran dengan nilai minimal 90% (SNI 7273-2008). Semakin banyak komposisi serat TKKS pada campuran maka akan semakin tinggi nilai opasitasnya. Hal ini dikarenakan pulp yang belum putih menghasilkan lembaran dengan opasitas yang lebih tinggi dibanding dengan pulp yang sudah putih (Rismijana *et al.* 2002).



(a)



(b)

Gambar 9 (a) Opasitas cetak untuk gramatur target 60 g/m²; (b) Opasitas cetak untuk gramatur target 120 g/m².

Begitu juga gramatur yang lebih tinggi, karena semakin banyak jumlah serat dalam suatu luasan akan meningkatkan nilai *opaque* dari kertas tersebut.

KESIMPULAN

Rendemen untuk pulp TKKS dan pulp selulosa mikrobial berada pada kisaran 60–62% (basis kering). Hasil pengujian untuk gramatur target 60 dan 120 g/m² berturut turut untuk gramatur berada pada selang 59,8–78,9 g/m² & 107,6–145,3 g/m², Indeks tarik tertinggi untuk gramatur target 60 & 120 g/m² diperoleh pada komposisi *nata de cassava* 100% dengan nilai 0,048 kNm/g dan pada komposisi 25:75 dengan nilai 0,067 kNm/g. Indeks sobek tertinggi diperoleh pada komposisi 75:25 pada kedua gramatur target dengan nilai berturut-turut 8,22 dan 7,72 mN m²/g. Ketahanan lipat terbaik diperoleh pada komposisi 50:50 dengan 108,5 lipatan ganda untuk gramatur target 60 g/m² dan pada komposisi 0:100 dengan 397,5 lipatan ganda pada gramatur target 120 g/m². Daya serap air untuk masing-masing gramatur target berturut-turut terletak pada selang 56,9–211,3 & 75–398,1 g/m² pada sisi halus serta mencapai 404,5 g/m² pada gramatur target 120 pada sisi kasar. Derajat putih terbaik pada kedua gramatur target diperoleh pada komposisi *nata de cassava* 100% dengan nilai berturut-turut 44,98 dan 32,62%. Opasitas cetak terbaik pada kedua gramatur target diperoleh pada komposisi 75:25 dengan nilai berturut-turut 97,55 dan 99,38%.

Tambahan pulp selulosa mikrobial dapat meningkatkan kekuatan fisik pada kertas dan mengurangi kemampuan daya serap air secara signifikan. Selain itu penambahan aditif dapat meningkatkan gramatur, indeks tarik dan ketahanan lipat serta dapat menurunkan kemampuan daya serap air kertas.

Berdasarkan sifat fisik dan mekaniknya, campuran pulp TKKS dan pulp selulosa mikrobial dapat mensubstitusi pulp kayu dalam pembuatan kertas. Kertas campuran pulp TKKS dan selulosa mikrobial memiliki nilai daya serap air yang rendah sehingga berpotensi untuk digunakan sebagai kertas tulis, kertas gambar, kertas kalkir, dan kertas kemasan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Republik Indonesia yang telah menyediakan dana Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi melalui Biaya Operasional Pendidikan Tinggi Nasional (BOPTN) yang dikelola Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat IPB.

DAFTAR PUSTAKA

- Casey JP. 1980. Pulp and Paper: Chemistry and Chemical Technology vol.1, 3rd ed. New York (US): Interscience Publisher Inc.
- Ditjen Perkebunan. 2012. Produksi, Luas Areal dan Produktivitas Perkebunan di Indonesia.
- [FAO] Food and Agricultural Organization of the United Nations. 2011. State of the World's Forests 2011. Food and Agriculture Organization of United Nations, Roma (IT).
- Gullichsen J, Paulapuro, Fogeholm CJ. 2000. Papermaking Science and Technology, Book 6A, Chemical Pulping. Finish Paper Engineers Association and TAPPI. Finland.
- Krystynowicz A, Bieclecki S, Turkiwicz M, Kalinowska H. 2005. *Bacterial Cellulosa Polysaccharide and polyamides in the food industry*. 31–85.
- Nuryanto E. 2000. Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Sumber Bahan Kimia. *Warta PPKS*. 8(3): 137–144.
- Purwanto W, Sparringga RA. 2000. Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa dan Batang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Pulp Kertas. *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*. 2(3): 56–65.
- Rismijana J, Indriani IN, Pitriyani T. 2002. Penggunaan Enzim Selulase Hemiselulase Pada Proses Deinking Kertas Koran Bekas. *Jurnal Matematika dan Sains*. 8(2): 67–71.
- Roliadi H. 2009. *Pembuatan dan Kualitas Karton dari Campuran Pulp Tandan Kosong Kelapa Sawit dan*

- Limbah Padat Organik Industri Pulp*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Bogor (ID).
- Roliadi H, Anggraini D. 2011. *Pembuatan Pulp dari Tandan Kosong Kelapa Sawit ntuk Karton pada Skala Usaha Kecil*. Pusat Litbang Keteknikan Kehutanan dan Pengolahan Hasil Hutan. Bogor (ID).
- Romadona R. 2001. Pengaruh Perlakuan Pendahuluan dengan Bahan Kimia Terhadap Pelunakan Kayu *Acacia mangium* dalam Pembuatan Pulp Putih Secara Mekanis. [Skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- [SII] Standar Industri Indonesia 0437-81. Cara Uji Derajat Putih Kertas. Departemen Perindustrian. Jakarta (ID).
- [SII] Standar Industri Indonesia 0531-81. Cara Uji Opasitas Cetak Kertas. Departemen Perindustrian. Jakarta (ID).
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 0499-2008. Kertas dan Karton-Cara Uji Daya Serap Air-Metode Cobb. Badan Standarisasi Nasional.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 0436-2009. Kertas-Cara Uji Ketahanan Sobek-Metode Elmendorf. Badan Standarisasi Nasional.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 0491-2009. Kertas dan Karton-Cara uji Ketahanan Lipat-Metode MIT. Badan Standarisasi Nasional.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 1924-2-2010. Kertas dan Karton-Cara Uji Sifat Tarik-Bagian 2: Metode Elongasi Tetap. Badan Standarisasi Nasional.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia ISO 287-2010. Kertas dan Karton-Cara Uji Kadar Air-Metode Kering-Oven. Badan Standarisasi Nasional.
- [SNI] Standar Nasional Indonesia ISO 536-2010. Kertas dan Karton-Cara Uji Gramatur. Badan Standarisasi Nasional.
- Syamsu K, Roliadi H, Candra KP, Hardiyanti SS. 2013. Produksi Kertas Selulosa Mikroba Nata de Coco dan Analisis Biokonversinya. *Jurnal Teknologi Pertanian*. 8(2): 60–68.
- Yoshinaga F, Tonouchi N, Watanabe K. 1997. Research Progress of Bacterial Cellulose by Aeration and Agitation Culture and Its Application as a New Industrial Material. *Biosci. Biotech. Biochem.* 61(2): 219–224.